

Studi Eksperimental Pengaruh Pembuangan Panas Kondensor Terhadap Unjuk Kerja Mesin Refrigerasi yang Menggunakan Kompresor Hermetik

Budi Santoso*, Budi Kristiawan, dan Fadil Rizkiyanda

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret,

Jl. Ir. Sutami 36A Ketingan Surakarta Indonesia

*msbudis@yahoo.co.id

Abstrak

Unjuk kerja mesin pendingin dipengaruhi oleh laju pembuangan panas kondensor yang disebabkan oleh perubahan temperatur lingkungan, kecepatan udara pelepas panas dan jenis fluidanya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan beban pelepasan panas di kondensor terhadap unjuk kerja mesin pendingin. Kompresor hermetik sebagai pengganti kompresor mobil digunakan untuk menguji sistem mesin pendingin mobil. Refrigeran yang digunakan adalah HFC-134a. Pengaturan parameter penelitian seperti laju kecepatan udara pendingin kondensor dan pemanas evaporator dilakukan. Analisa yang digunakan adalah siklus daur uap maka data temperatur dan tekanan pada setiap tingkat keadaan dicatat. Temperatur dan laju kecepatan udara melalui kondensor dan evaporator juga diperlukan. Perubahan beban pelepasan panas di kondensor dapat menghasilkan kapasitas pendinginan antara 6,39 sampai dengan 8,70 kW, koefisien prestasi antara 3,88 sampai dengan 4,57 dan perbandingan efisiensi energi 8,33 sampai dengan 10,74.

Kata kunci : heat reject, cooling capacity, hermetic compressor, coefficient of performance, HFC-134a, energy efficiency ratio.

Pendahuluan

Mesin pengkondisian udara menyerap kalor dari ruangan dengan menggunakan evaporator dan melepas kalor ke lingkungan dengan menggunakan kondensor. Pembuangan panas yang dilakukan kondensor mempengaruhi kinerja mesin *air conditioning* (AC). Ketika pembuangan panas yang dilakukan tidak maksimal, maka kinerja penyerapan panas yang dilakukan oleh evaporator akan menurun. Penurunan terjadi dikarenakan suhu refrigeran yang melewati evaporator memiliki perbedaan yang tidak terlalu besar dengan suhu ruangan, sehingga penyerapan panas yang dilakukan tidak maksimal. Penyerapan panas yang rendah akibat pembuangan panas yang tidak maksimal menyebabkan unjuk kerja dari mesin *air conditioning* (AC) tidak optimal. Koefisien prestasi (COP), kapasitas pendinginan dan *energy efficiency ratio* (EER) mengalami penurunan dengan tidak maksimalnya pembuangan panas yang dilakukan oleh kondensor.

Eksperimen mengenai analisis performa dari sistem refrigerasi dengan menggunakan refrigeran R12 dan R134a. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi pada suhu kerja kondensor. Dari pengujian yang dilakukan, terlihat bahwa suhu kerja kondensor mempengaruhi kinerja sistem refrigerasi. Koefisien prestasi (COP) mengalami penurunan dengan naiknya suhu kerja kondensor [1].

Analisa dilakukan untuk performa dari refrigeran R134a, R12 dan refrigeran campuran antara R290 dan R600a. Pengujian dilakukan dengan suhu kerja kondensor yang bervariasi, dari suhu 30°C hingga 50°C. Dari pengujian yang dilakukan, terlihat bahwa koefisien prestasi (COP) dari semua refrigeran mengalami penurunan disetiap naiknya suhu kerja kondensor [2].

Pengujian dilakukan dengan penggunaan refrigeran R152a pada sistem refrigerasi yang menggunakan kompresor hermetik yang didesain untuk penggunaan refrigeran R134a. Kompresor menggunakan jenis *single-stage reciprocating hermetic compressor*

berkapasitas 12,11 cm³ dengan putaran 2900 rpm. Dari pengujian yang dilakukan, R152a yang memiliki rasio kompresi mirip dengan R134a dapat digunakan pada kompresor hermetik yang didesain untuk R134a. Tidak ada masalah yang ditemukan pada kompresor, pelumas (tipe POE), dan alat ekspansi (*electronic expansion valve*) yang digunakan [3].

Penelitian mengenai penggunaan refrigeran HFC-134a sebagai pengganti refrigeran R-12 pada automotive air conditioning. Dari penelitian didapat hasil bahwa HFC-134a memberikan kapasitas refrigerasi yang lebih besar pada temperatur *evaporator* yang rendah dan temperatur kondensor yang tinggi. *Performance* dari kompresor lebih besar HFC-134a dibandingkan dengan refrigeran R-12. Refrigeran HFC-134a sesuai untuk menggantikan refrigeran R-12 pada *automotive air conditioning* [4].

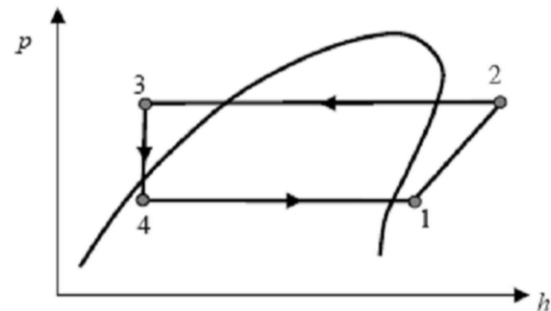
Selain suhu kerja kondensor, beban pendinginan juga mempengaruhi kinerja sistem refrigerasi. Peningkatan beban pendinginan menyebabkan koefisien prestasi (COP) sistem pendingin mengalami kenaikan. Kapasitas refrigerasi (Q_e) juga mengalami kenaikan dengan naiknya beban pendinginan [5].

Dari uraian diatas diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh pembuangan panas oleh kondensor untuk mendapatkan hasil kerja mesin *air conditioning* (AC) yang maksimal. Pembuangan panas divariasikan dengan cara mengubah kecepatan blower kondensor menjadi 4 tipe pembuangan panas. Parameter yang menjadi fokus penelitian antara lain perbandingan nilai efek refrigerasi (RE), koefisien prestasi (COP), kapasitas pendinginan dan *energy efficiency ratio* (EER). Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh pembuangan panas pada kondensor terhadap unjuk kerja mesin refrigerasi dengan menggunakan refrigeran R134a.

Metodelogi Penelitian

Siklus kompresi uap ideal dapat dilihat pada diagram tekanan-entalpi dalam Gambar 1. Kapasitas pendinginan (cooling capacity) merupakan jumlah aliran kalor yang diserap

evaporator dari udara ruangan yang didinginkan. Kapasitas pendinginan dirumuskan dalam Persamaan (1) – (3).



Gambar 1. Siklus kompresi uap [6]

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{ud} \cdot (\Delta h_{ud}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{ud} \cdot (h_{ud,out} - h_{ud,in}) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{in} = \rho_{ud} \cdot v_{ud} \cdot A \cdot (h_{ud,out} - h_{ud,in}) \quad (3)$$

dimana:

$\dot{Q}_{in}$: Kapasitas pendinginan (kW)

$\dot{m}_{ud}$: Laju aliran massa udara (kg/s)

$h_{ud,out}$: Entalpi spesifik udara keluar (kJ/kg)

$h_{ud,in}$: Entalpi spesifik udara masuk (kJ/kg)

ρ_{ud} : Massa jenis udara (kg/m³)

v_{ud} : Kecepatan aliran udara (m/s)

A : Luas penampang saluran (m²)

Kerja kompresi merupakan perubahan entalpi pada proses 1-2 dalam Gambar 1.

$$w = h_1 - h_2 \quad (4)$$

dimana:

w : Kerja kompresi (kJ/kg)

h_1 : Entalpi refrigeran keluar kompresor (kJ/kg)

h_2 : Entalpi refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)

Dampak refrigerasi dirumuskan dalam Persamaan (5).

$$RE = h_1 - h_4 \quad (5)$$

dimana:

RE : Dampak refrigerasi (q) (kJ/kg)

h_1 : Entalpi refrigeran keluar evaporator
(kJ/kg)

h_4 : Entalpi refrigeran masuk evaporator
(kJ/kg)

Koefisien prestasi (COP) dari siklus kompresi uap ideal merupakan perbandingan antara dampak refrigerasi dengan kerja kompresor, yang dirumuskan dalam Persamaan (6) [6].

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

dimana:

COP : Koefisien prestasi

h_1 : Entalpi spesifik titik 1 (kJ/kg)

h_2 : Entalpi spesifik titik 2 (kJ/kg)

h_4 : Entalpi spesifik titik 4 (kJ/kg)

Energy Efficiency Ratio (EER) adalah suatu bilangan yang membandingkan besar kapasitas pendinginan dengan jumlah daya listrik yang dibutuhkan oleh sistem. Pada sistem refrigerasi kompresi uap secara umum terdapat tiga komponen yang membutuhkan energi listrik, yaitu kompresor, evaporator dan

kondensor. Faktor energi dirumuskan dalam Persamaan (7) [7].

$$\text{EER} = \frac{\dot{Q}_{in}}{P_{tot}} \quad (7)$$

dimana:

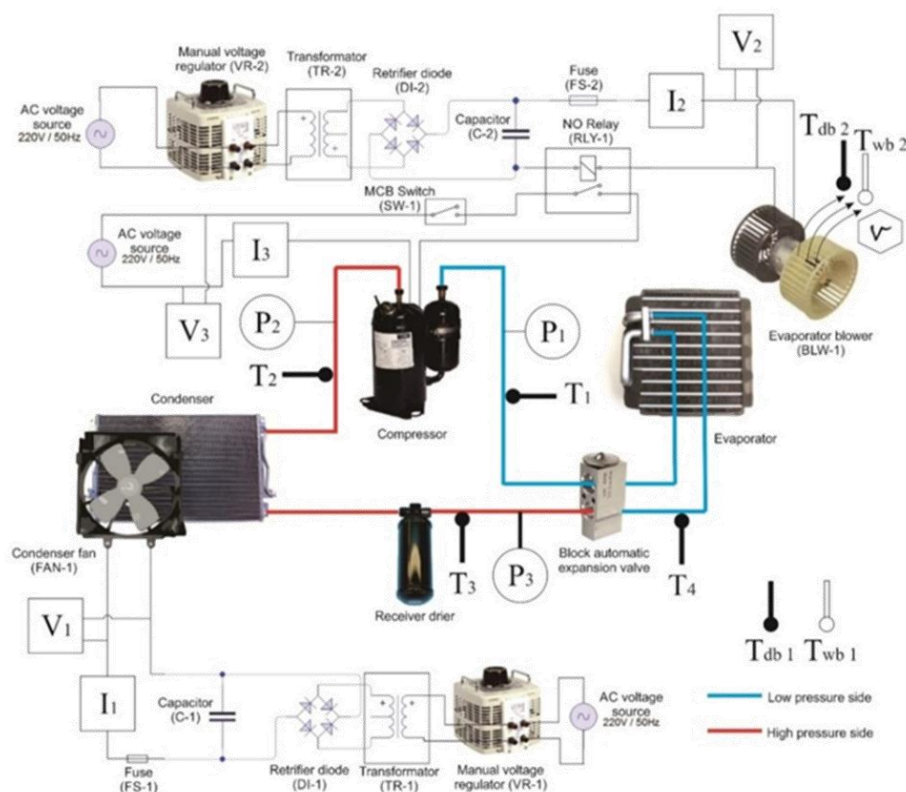
EER : Energy Efficiency Ratio

$\dot{Q}_{in}$: Kapasitas pendinginan (W)

P_{tot} : Total daya listrik (W)

Peralatan yang digunakan dalam penelitian merupakan mesin refrigerasi yang terdiri dari beberapa komponen dasar yang disusun sesuai dengan Gambar 2.

Kompresor yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kompresor hermetik satu fasa berjenis *rotary compressor*. Kompresor memiliki daya input sebesar 585 W dan menghasilkan daya kompresi sebesar 0,75 PK. Kapasitas silinder dari kompresor tersebut adalah 12,2 cm³. Tipe kondensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah *flat tube unmixed cross flow condenser* berpendingin udara dengan jumlah saluran 50 pipa dan jumlah laluan 2 passes.



Gambar 2. Rangkaian alat pengujian

Receiver drier digunakan sebagai penyaring refrigeran yang keluar dari kondensor serta mengurangi kadar kelembaban refrigeran. *Receiver drier* juga digunakan untuk melihat aliran refrigeran yang bersirkulasi dalam sistem. Katup ekspansi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *tipe block automatic expansion valve* yang dibuat Denso dengan nomor seri 447500-9190. Evaporator yang digunakan dalam penelitian ini adalah *jenis dry evaporator with direct-expansion cooling coil*. Pertukaran kalor yang terjadi antara refrigeran dan udara berlangsung secara menyilang (*cross-flow*). *Voltage regulator* berfungsi untuk mengatur besarnya tegangan keluaran dari input serta sebagai penyetabil tegangan. *Voltage regulator* menggunakan tipe manual, sehingga besarnya tegangan keluaran dapat diatur sesuai kebutuhan. *Transformer* menggunakan tipe *step-down* sehingga dapat menurunkan besar tegangan dari manual *voltage regulator*. *Transformer* yang digunakan berjumlah 2 buah yang mana

memiliki kapasitas kuat arus listrik 10A untuk rangkaian kipas kondensor dan 30A untuk rangkaian blower evaporator dan kompresor.

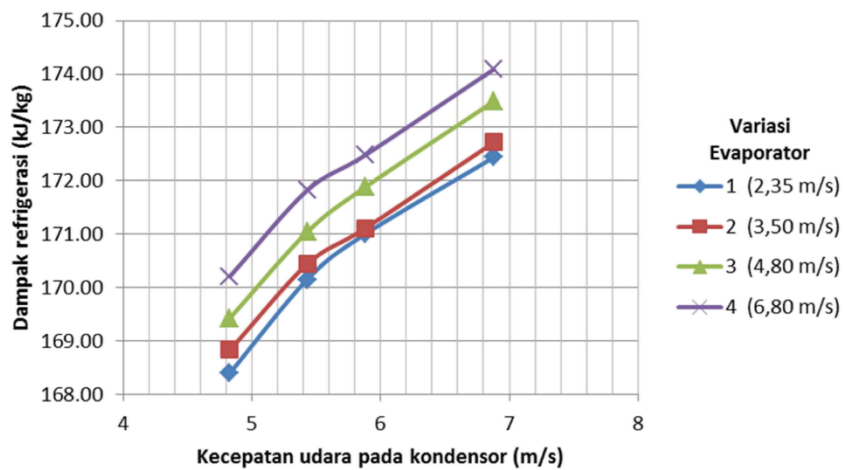
Data yang diambil akan dikelompokkan menjadi data temperatur, tekanan, kecepatan aliran udara, tegangan listrik dan kuat arus yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil dan Diskusi

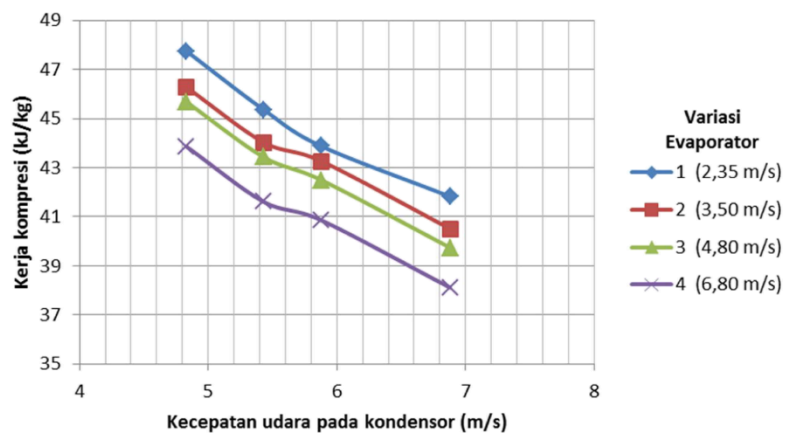
Dari data tekanan dan temperatur yang didapat, maka akan diketahui besaran entalpinya [8]. Besaran entalpi didapat dengan menggunakan diagram mollier atau diagram p-h yang menyatakan hubungan antara tekanan (P) dan entalpi (h). Diagram mollier dibagi menjadi tiga bagian untuk membedakan tingkat keadaan refrigeran yaitu tingkat keadaan cairan super dingin (*sub-cooled liquid*), uap basah dan uap super panas (*super-heated vapor*) oleh garis cair jenuh (*saturated liquid line*) dan garis uap jenuh (*saturated vapor line*).

Tabel 1. Keterangan diagram titik pengukuran dan instrumentasinya

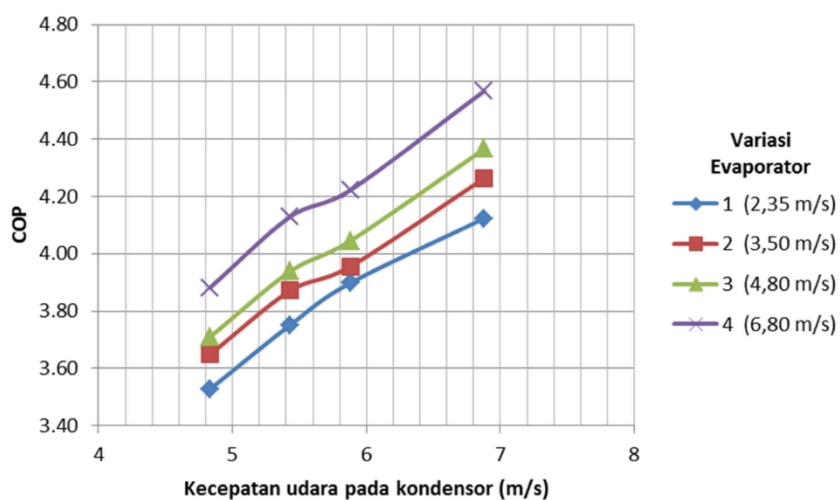
No	Notasi	Keterangan	Satuan	Instrumen
1	Tdb ₁	Temperatur bola kering lingkungan	°C	Termometer
2	Twb ₁	Temperatur bola basah lingkungan	°C	Termometer
3	Tdb ₂	Temperatur bola kering keluar blower	°C	Termometer
4	Twb ₂	Temperatur bola basah keluar blower	°C	Termometer
5	T ₁	Temperatur masuk kompresor	°C	Termokopel
6	P ₁	Tekanan masuk kompresor	psig	Pressure gauge
7	T ₂	Temperatur keluar kompresor	°C	Termokopel
8	P ₂	Tekanan keluar kompresor	psig	Pressure gauge
9	T ₃	Temperatur masuk katup ekspansi	°C	Termokopel
10	P ₃	Tekanan masuk katup ekspansi	psig	Pressure gauge
11	T ₄	Temperatur keluar katup ekspansi	°C	Termokopel
12	V ₁	Tegangan listrik kipas kondensor	V	Multimeter
13	I ₁	Kuat arus kipas kondensor	A	Clampmeter
14	V ₂	Tegangan listrik blower evaporator	V	Multimeter
15	I ₂	Kuat arus blower evaporator	A	Clampmeter
16	V ₃	Tegangan listrik kompresor	V	Multimeter
17	I ₃	Kuat arus kompresor	A	Clampmeter
18	v	Kecepatan aliran udara keluar blower	m/s	Anemometer



Gambar 3. Hubungan dampak refrigerasi dengan pengaruh pembuangan panas pada kondensor



Gambar 4. Hubungan kerja kompresi dengan pengaruh pembuangan panas pada kondensor



Gambar 5. Hubungan koefisien prestasi (COP) dengan pengaruh pembuangan panas pada kondensor

Gambar 3. menunjukkan grafik pengaruh pembuangan panas terhadap dampak refrigerasi. Dapat dilihat bahwa semakin besar pembuangan panas yang dilakukan oleh kondensor, maka dampak refrigerasi dari refrigeran R-134a semakin naik. Hal ini terjadi karena perbedaan entalpi antara h_1 dan h_4 yang semakin meningkat disetiap kenaikan variasi pembuangan panas.

Pada Gambar 4 dapat dilihat hubungan antar kerja kompresi dengan pembuangan panas pada kondensor. Bertambahnya pembuangan panas oleh kondensor menyebabkan kerja kompresi yang semakin menurun.

Coefficient of Performance (COP) merupakan indeks prestasi dalam daur refrigerasi. Koefisien prestasi yang tinggi sangat diharapkan karena hal itu menunjukkan bahwa sejumlah tertentu refrigerasi hanya memerlukan sejumlah kecil kerja. Diketahui dari analisa sebelumnya bahwa dampak refrigerasi (RE) akan mengalami kenaikan setiap naiknya pembuangan panas oleh kondensor, sedangkan kerja kompresi (W_c) akan mengalami penurunan. Koefisien prestasi (COP) sendiri merupakan perbandingan antara dampak refrigerasi (RE) dengan kerja kompresi (W_c).

Naiknya dampak refrigerasi dan turunnya kerja kompresi menyebabkan koefisien prestasi (COP) mengalami kenaikan setiap naiknya pembuangan panas yang dilakukan oleh kondensor. Gambar 5. menunjukkan hubungan antara koefisien prestasi (COP) refrigeran R-134a dengan variasi pembuangan panas kondensor. Seiring naiknya pembuangan panas yang dilakukan oleh kondensor, maka koefisien prestasi dari refrigeran R-134a juga mengalami kenaikan.

Dengan laju alir massa udara (m_{ud}) dan entalpi udara masuk (h_{in}) yang tetap, maka turunnya entalpi udara keluar (h_{out}) akan membuat naiknya nilai selisih entalpi udara masuk-keluar (Δh_{ud}) disetiap variasi pembuangan panas. Sehingga kapasitas pendinginan akan mengalami kenaikan

disetiap kenaikan variasi pembuangan panas, seperti yang terlihat pada Gambar 6.

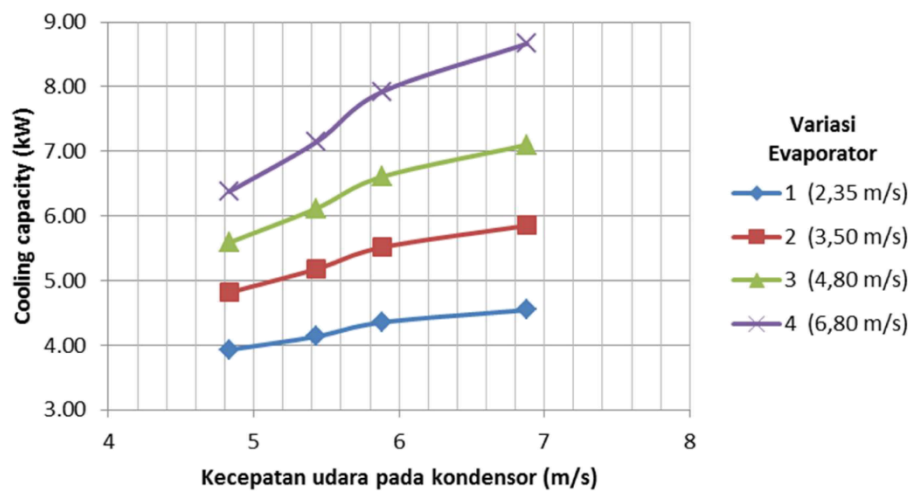
Konsumsi energi total merupakan jumlah energi total yang digunakan sistem selama satu variasi. Pada penelitian kali ini dilakukan variasi pembuangan panas pada kondensor dengan cara mengatur kecepatan putar *fan* kondensor. Sehingga semakin cepat putaran *fan* kondensor, maka dibutuhkan daya yang besar pula.

Selain variasi kecepatan putar *fan* kondensor, pada penelitian ini juga dilakukan variasi kecepatan *blower* evaporator. Sehingga dengan semakin bertambahnya kecepatan putar pada *blower* evaporator, maka daya yang dibutuhkan juga semakin besar. Pada Gambar 7. dapat dilihat hubungan antara variasi pembuangan panas kondensor dan variasi kecepatan *blower* evaporator dengan konsumsi energi total. Semakin besar variasi yang diberikan maka konsumsi energi totalnya juga akan semakin meningkat.

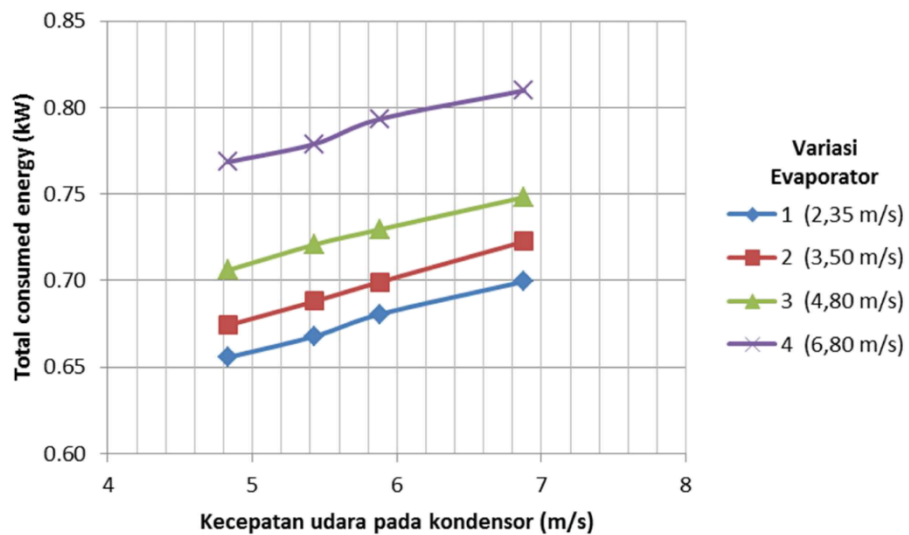
Energy Efficiency Ratio (EER) merupakan perbandingan antara kapasitas pendinginan dengan konsumsi energi total. Dengan naiknya kapasitas pendinginan pada setiap kenaikan variasi pembuangan panas kondensor, maka EER juga mengalami kenaikan.

Energy Efficiency Ratio (EER) juga dipengaruhi oleh konsumsi energi total yang digunakan sistem selama satu variasi. Sehingga, jika konsumsi energi total yang digunakan sistem semakin besar ada kemungkinan EER-nya akan menurun. Karena konsumsi energi total berbanding terbalik dengan *Energy Efficiency Ratio* (EER). Namun kenaikan konsumsi energi total tidak sebesar kenaikan kapasitas pendinginannya. Sehingga walaupun konsumsi energi total meningkat, EER tetap naik dikarenakan kenaikan kapasitas refrigerasi lebih besar daripada kenaikan konsumsi energi total.

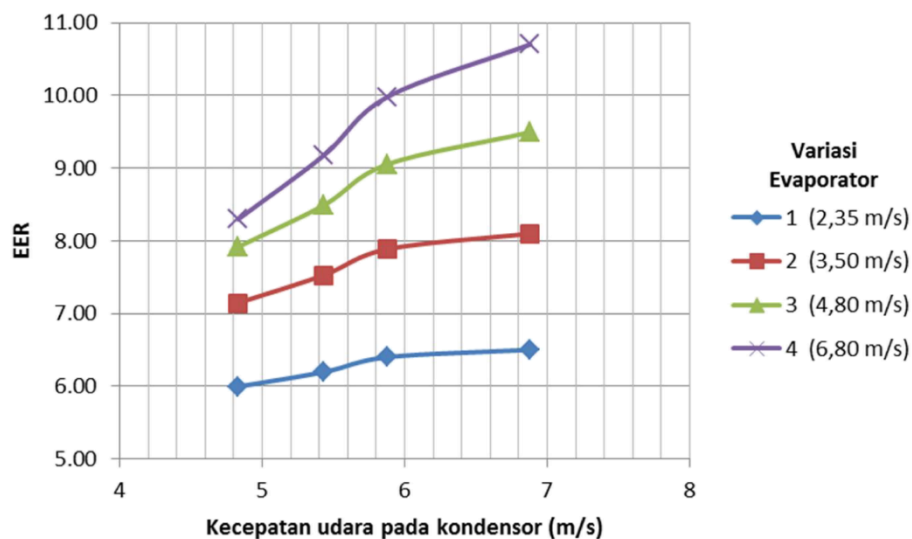
Gambar 8. menunjukkan pengaruh variasi pembuangan panas pada kondensor dengan EER. Dapat dilihat bahwa semakin besar pembuangan panasnya maka *Energy Efficiency Ratio* juga semakin meningkat.



Gambar 6. Hubungan *cooling capacity* dengan pengaruh pembuangan panas pada kondensor



Gambar 7. Hubungan *total consumed energy* dengan variasi pembuangan panas pada kondensor



Gambar 8. Hubungan *Energy Efficiency Ratio* dengan variasi pembuangan panas pada kondensor

Kesimpulan

Pengujian kali ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pembuangan panas oleh kondensor terhadap unjuk kerja sistem refrigerasi. Data temperatur, tekanan, kuat arus dan tegangan diambil dengan menggunakan alat ukur yang dibutuhkan. Perubahan beban pelepasan panas di kondensor dapat menghasilkan kapasitas pendinginan antara 6,39 sampai dengan 8,70 kW, koefisien prestasi antara 3,88 sampai dengan 4,57 dan perbandingan efisiensi energi 8,33 sampai dengan 10,74.

Referensi

- [1] K. Nagalakshmi, G. Yadav, dan Marurhiprasad. The Design and Performance Analysis of Refrigeration System Using R12 and R134a Refrigerants. *Journal of Engineering Research and Application* Vol. 4 pp. 638-643. (2014).
- [2] P. Thangavel, P. Somasundaram, T. Sivakumar, C. Selva Kumar, dan G. Vetriselvan. Simulation Analysis of Compression Refrigeration Cycle with Different Refrigerants. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* Vol. 2, Issue 10. (2013).
- [3] R. Cabello, D. Sanchez, R. Lopis, I. Arauzo, dan E. Torrella. Experimental Comparison Between R152a and R134a Working in a Refrigeration Facility Equipped With a Hermetic Compressor. *International Journal of Refrigeration* Vol. 60 pp. 92-105. (2015).
- [4] Md. Razali, Md. Noor Musa, dan M. Basri Katjo. The Experiment Result Analysis of CFC-12 and HFC-134a Refrigerants on the Automotive Air Conditioning System. Universitas Teknologi Malaysia, Johor Bahru. (2000).
- [5] K. Anwar. Efek Beban Pendinginan Terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin. *Jurnal SMARTek* Vol. 8 No. 3 pp. 203-214. (2010).
- [6] W. F. Stoecker, , dan J. W. Jones. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. Erlangga, Jakarta. (1992).
- [7] C. S. Jwo, C. C., Ting dan W. R. Wang. Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerants. *Journal of Measurement* Vol. 42 pp. 697–701. (2009).
- [8] Du Pont Suva, Thermodynamic Properties of HFC-R134a, Technical Information . (The miracle of sciences).